

AMPACITA VENKOVNÍCH VEDENÍ

Ampacita (Ampere Capacity) = proudová zatížitelnost

- omezení – maximální dovolená provozní teplota vodiče; ta dána typem vodiče a provozním stavem
- vlivy – klimatické (teplota okolí, vítr, Slunce)
- další limity: mechanika (průhyb), magnetické pole, stabilita

Provozní teplota AlFe lan (ACSR – Aluminium Conductor Steel Reinforced)

dle ČSN EN 50341-3-19

- normální zatížení: 80°C
- krátkodobé zvýšení při zvláštním zatížení (až 150°C)
- při zkratu: 200°C

x předpisy výrobce, zhoršení optických a mechanických vlastností, průhyb

Tepelné modely venkovního vedení

Tepelná vodivost vodiče λ vysoká \rightarrow teplota vodiče uvažována konstantní po průřezu: T_{AV} ($^{\circ}\text{C}$)

Diferenciální rovnice pro teplotu vodiče

$$M \cdot c_p \frac{dT_{AV}}{dt} = P_J + P_S + P_M - P_R - P_C \quad (\text{W / m})$$

M poměrná hmotnost vodiče (kg/m)

c_p měrná tepelná kapacita ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

P_J Joulovy ztráty (W/m)

P_S výkon dodaný slunečním zářením (W/m)

P_M ohřev magnetickým polem (W/m)

P_R výkon odvedený sáláním (W/m)

P_C výkon odvedený konvekcí (W/m)

Střídavý odpor zohledňuje el. i mag. vlivy

$$P_Z = P_J + P_M = R_{ac} I^2 \quad (\text{W / m ; } \Omega / \text{m , A})$$

Ustálený stav – rovnice algebraická

$$\frac{dT_{AV}}{dt} = 0$$

Parametry AlFe lan

$$M = \rho_{Al} \cdot S_{Al} + \rho_{Fe} \cdot S_{Fe} \quad (\text{kg / m ; kg / m}^3, \text{ m}^2)$$

$$c_P = \frac{c_{Al} \cdot \rho_{Al} \cdot S_{Al} + c_{Fe} \cdot \rho_{Fe} \cdot S_{Fe}}{\rho_{Al} \cdot S_{Al} + \rho_{Fe} \cdot S_{Fe}} \quad (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$$

$$\rho_{Al} = 2703 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \quad \rho_{Fe} = 7780 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$c_{Al} = 897 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \quad c_{Fe} = 477 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Joulovy ztráty

$$P_Z = I_P^2 \cdot R_{dc0} \cdot k_{ac} [1 + b(T_{AV} - T_0)] \quad (\text{W / m})$$

R_{dc0} měrný DC odpor (Ω/m) při teplotě T_0

T_0 referenční teplota, obvykle 20°C

b teplotní součinitel odporu (K^{-1})

$$b \approx 4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

k_{ac} poměr mezi AC a DC odporem

$$k_{ac} = R_{ac} / R_{dc} > 1$$

Výkon dodaný slunečním zářením

$$P_S = a \cdot D \cdot I_{př} \sin \omega \quad (\text{W / m})$$

a koeficient pohltivosti (absorpce)
slunečního záření (-), $a \approx 0,5 \div 1$

D průměr vodiče (m)

$I_{\text{př}}$ přímé sluneční záření (W/m^2)

sluneční konstanta $I_0 \approx 1370 \text{ W} / \text{m}^2$

ω úhel mezi slunečními paprsky a osou vodiče ($^\circ$)

Výkon odvedený sáláním

$$P_R = \sigma \cdot \varepsilon \cdot \pi \cdot D \cdot \left[(T_{\text{AV}} + 273,15)^4 - (T_a + 273,15)^4 \right] \quad (\text{W} / \text{m})$$

T_a teplota okolí ($^\circ\text{C}$)

σ Stefanova-Boltzmannova konstanta

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

ε emisivita tepelného záření (-), $\varepsilon \approx 0,5$

Výkon odvedený konvekcí

$$P_C = \alpha \cdot \pi \cdot D \cdot (T_{AV} - T_a) \quad (\text{W} / \text{m})$$

α součinitel přestupu tepla konvekcí

$$\alpha = k_w \cdot \frac{\text{Nu} \cdot \lambda}{D} \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1})$$

λ tepelná vodivost vzduchu ($\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)

Nu Nusseltovo číslo (-)

volná konvekce $\text{Nu}_V = f(\text{Gr}, \text{Pr})$

nucená konvekce $\text{Nu}_N = f(\text{Re})$

k_w koeficient vlivu směru větru (-)

$$k_w = 1,194 - \sin \psi - 0,194 \cos 2\psi + 0,364 \sin 2\psi$$

ψ úhel mezi směrem větru a normálou
k vodiči

Vliv trojsvazku

P_Z – každý vodič 1/3 celkového proudu (ztrát)

P_S – beze změn, stínění proměnlivé

P_C – beze změn, mezní vrstva x cm

P_R – menší, částečné sálání na stejnou teplotu

$$k_{\text{rad}} = 1 - \frac{2 \cdot \text{Arctg}\left(\frac{D}{2l}\right)}{\pi}$$

l ... rozteč svazku (m)

→ menší ochlazování, nižší zatížitelnost (cca o 0,5%)

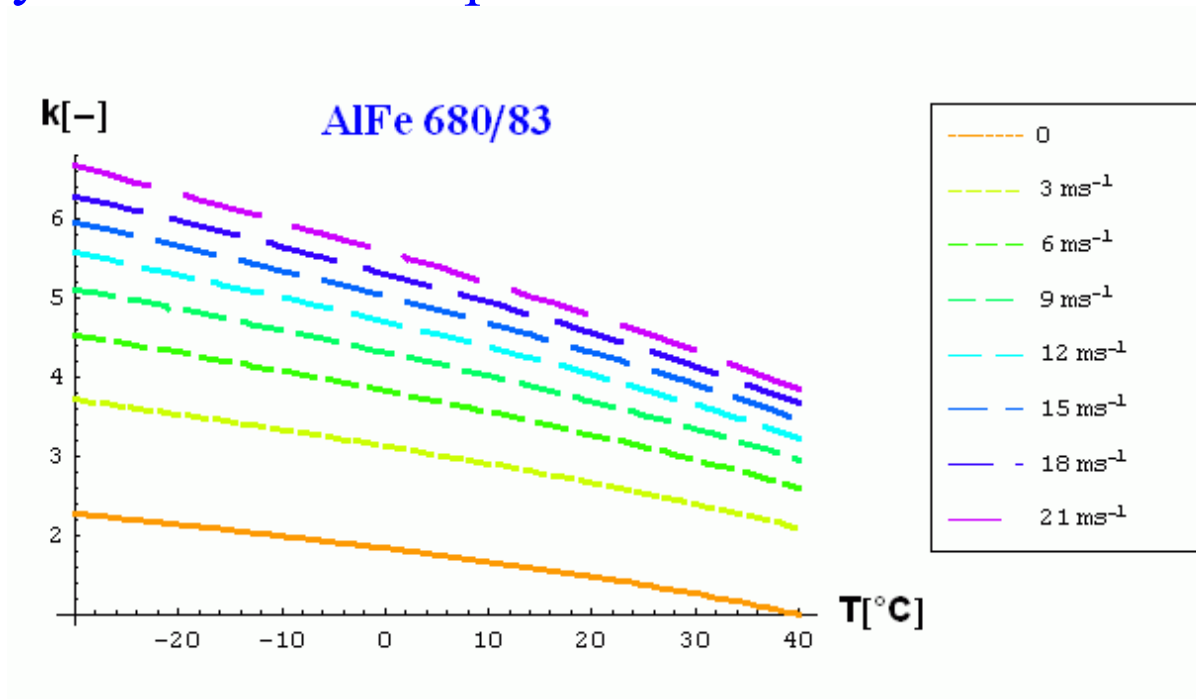
Ustálené stavy

Ampacita pro danou teplotu vodiče

$$I = \sqrt{\frac{P_R + P_C - P_S}{k_{\text{ac}} \cdot R_{\text{dc}}}} \quad (\text{A})$$

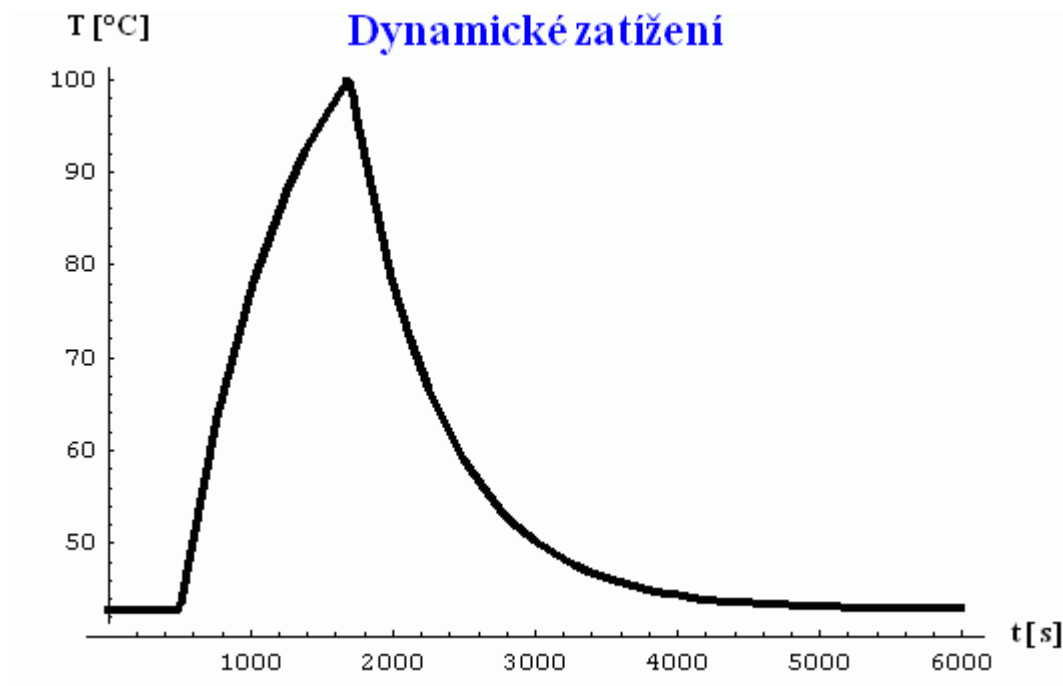
Ustálená teplota – algebraická rovnice 4. řádu

Vliv klimatických veličin na ampacitu



Dynamické stavy

- Změny v konfiguraci soustavy, výrobě, zatížení, 10x minut, akumulace tep. energie.
- Rychlost dějů závisí na tepelné časové konstantě: např. pro 434-AL1/59-ST1A $\tau_{\text{vod}} = 16,5 \text{ min}$.
- Př.: AlFe 680/83 přetěžováno 20 min do 100°C → dynamická ampacita 2292A.

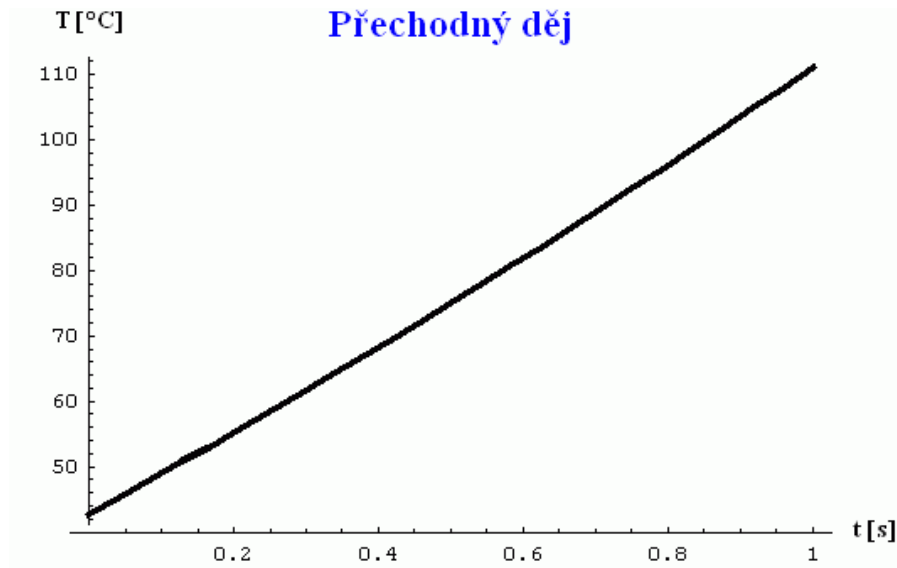


Přechodné děje

- Bleskové, zkratové proudy.
- Adiabatické podmínky
($P_S = 0, P_R = 0, P_C = 0$).

$$M \cdot c_P \frac{dT_{AV}}{dt} = P_Z = I_Z^2 \cdot R_{ac0} [1 + b(T_{AV} - T_0)] \quad (\text{W / m})$$

Př.: AlFe 680/83, zkrat 50kA po 1s



Zatížitelnost linek

Limitní faktory zatížení

- průhyb
- zařízení v rozvodně (MTP, ODP)
- lano

Měření teploty

- kontaktní
- termovize
- průhyb laserem $\rightarrow T$
- fázorové měření \rightarrow průměrná teplota
- mechanické vlastní kmity \rightarrow průhyb $\rightarrow T$
- průběžná teplota odrazem v optických vláknech

Zatěžování

- statické – konstantní limity, někdy léto x zima (nastavení ochran)
- dynamické
 - online – měření teploty vodičů → data do dispečinku → omezování zatížení
 - online – měření teploty vodičů + meteorologická data → tepelné modely pro rozhodování
 - offline – jen meteodata do modelů
 - predikční systémy založené na síti meteostanic (USA)
- normální x mimořádné stavy – rozhodovací čas pro dispečera

Řízení zatížení

- rekonfigurace
- redispečink zdrojů
- FACTS
- mimořádné stavy (omezování odběrů)

Kritická místa a stavy

- vývody z elektráren
- mezinárodní propojení
- dlouhá „paralelní“ vedení
- tranzit x vnitřní zatížení
- OZE

Dimenzování vodičů

Přístupy stanovení hraničních podmínek

Klimatická veličina	Rozsah pracovních podmínek	Hraniční hodnoty		
		pod-kritické	kritické	mezní
T_a (°C)	-30 až 35	30	35	40
w_S (m/s)	0,6 až 30	1,34	0,6	0
I_{gm} (W/m ²)	0 až 800	800	800	1100

Podmínky dle ČSN EN 50341-3-19 pro stanovení nejvyšší návrhové teploty vodičů:

- teplota okolí 35 °C
- rychlost větru 0,5 m/s pod úhlem náběhu 45° na vodič
- globální intenzita slunečního záření 1000 W/m²
- součinitel absorpce 0,5
- součinitel emisivity 0,5

Vodiče pro venkovní vedení

Obvykle více materiálů, pevnost + vodivost.

- ACSR (Aluminium Conductor Steel Reinforced)
- AAAC (All-Aluminium Alloy Conductor)
- ACAR (Aluminium Conductor Alloy Reinforced)
- AACSR (Aluminium Alloy Conductor Steel Reinforced)
- AAC (All Aluminium Conductor)

Kompaktní vodiče – „bez vzduchových mezer“, vodivější x těžší

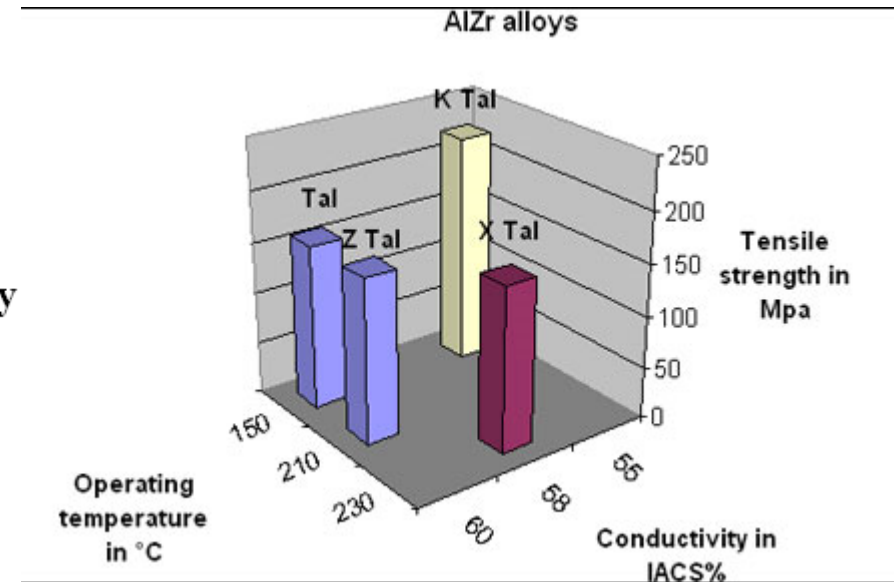
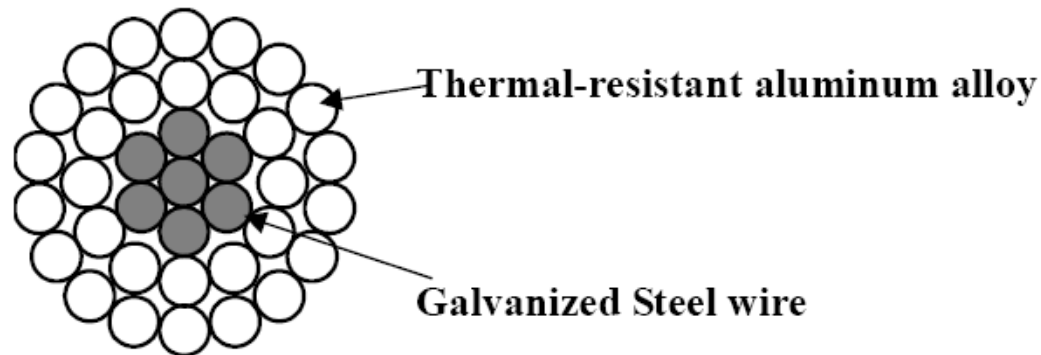
Vysokoteplotní vodiče

- slitiny hliníku a zirkonu s pevností do vyšších teplot (TA1, ZTA1, XTA1)

→ např. TACSR

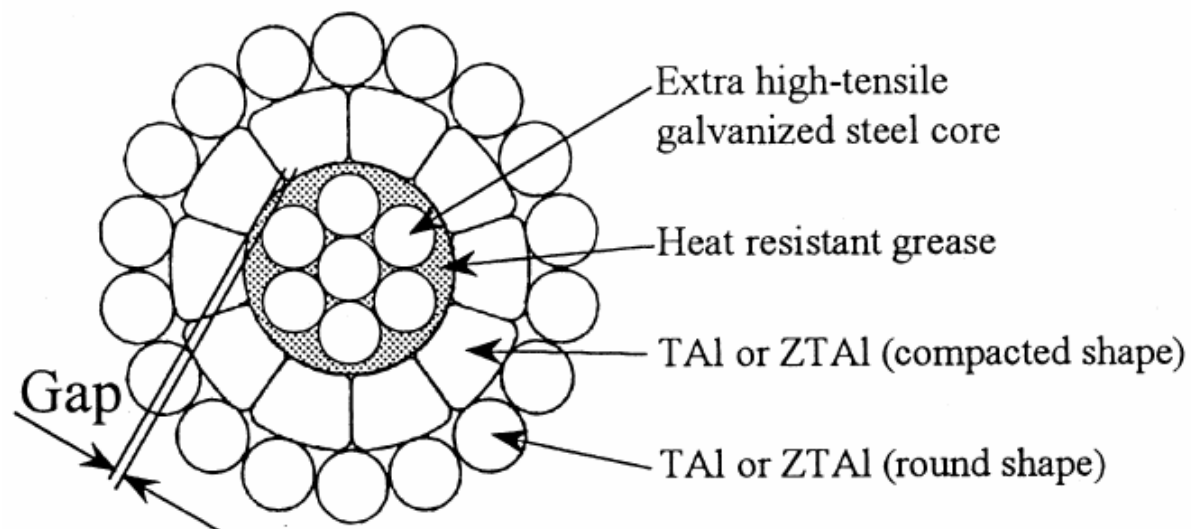
Dovolená ustálená teplota

TA1: 150°C, ZTA1: 210°C, XTA1: 230°C

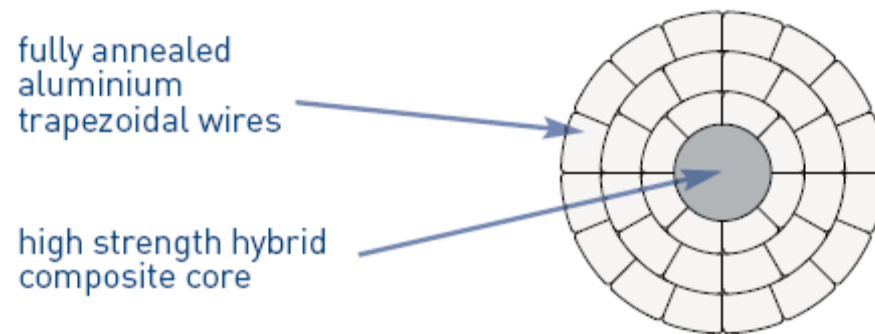


- pevnost dána oběma materiály až do přechodového bodu (knee-point), pak jen jádro, $T_{kn} \approx 100^\circ\text{C}$
- nízká roztažnost jádra: Invar (Fe + Ni), $1/3$ oproti oceli, cca $3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, malý průhyb x nižší pevnost → např. TACIR

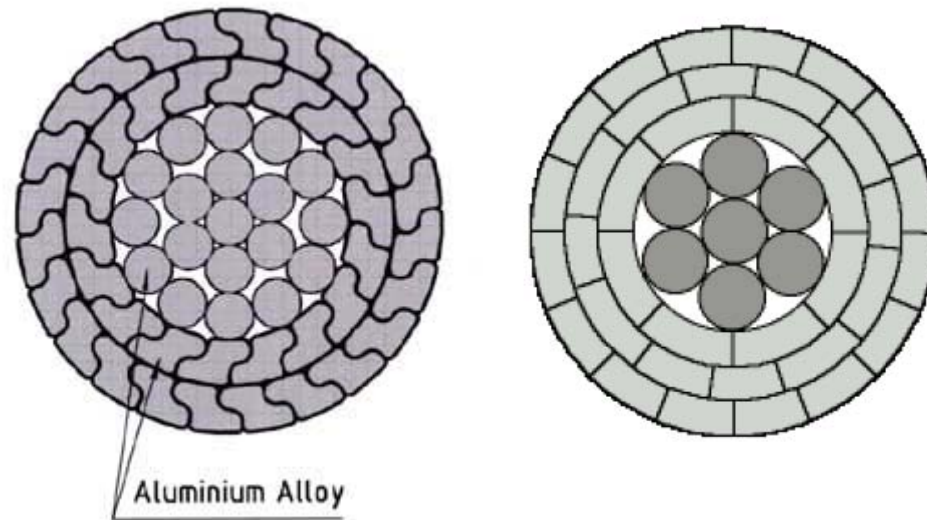
- vodiče s mezerou mezi Fe a Al: GZTACSR (Gap-type ZT-Aluminium Conductor Steel Reinforced) – tahem namáháno pouze jádro, tj. roztažnost jádra
($11,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ pro Fe x $18 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ u AlFe)

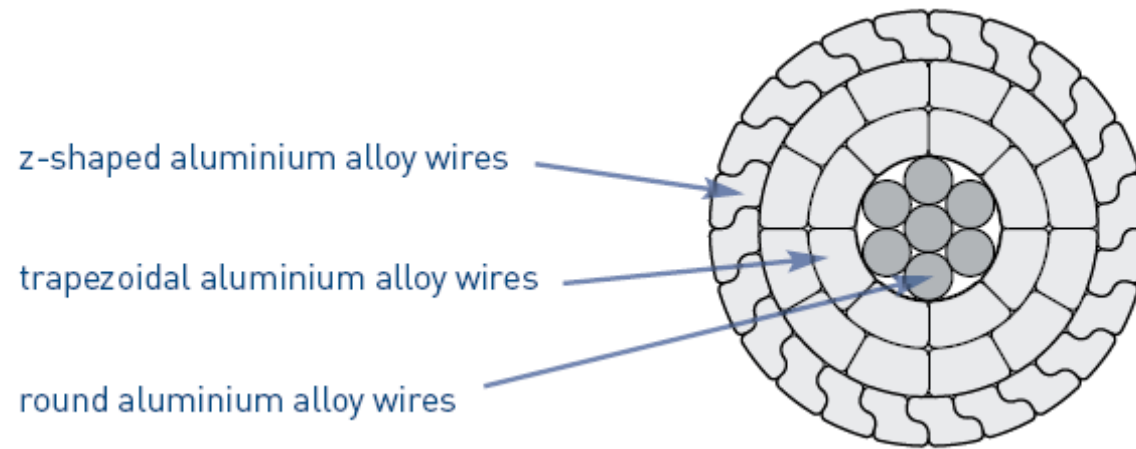


- kompozitní materiály: ACFR (Aluminium Conductor Carbon Fibre Reinforced), ACCC (Aluminium Conductor Composite Core) – malá roztažnost, lehký, více Al, do 150°C



- kompaktní profily: ACSR/TW, AERO-Z – stačí menší průměr, vyšší odolnost větru





- optická vlákna: OPGW (Optical Ground Wire) – nejčastěji v zemnicích lanech, komunikace

Case 1 - Final Sag vs Conductor Temperature

